Vol.14, No.2, Summer 2025, p.329-351 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076



Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2025.90461.1527 OPEN ACCESS

Modeling the Spatial Variations of Water Quality Components Using Geomorphometry Variables (Case Study: Talesh River Catchments)

Fahimeh Poorfarashzadeh [1], Aghil Madadi [2]*, Mortaza Gharachorlu [3]

[1, 2 & 3] Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 26 October 2024

Revised: 04 January 2025

Accepted: 26 January 2025

Available Online: 26 January 2025

Keywords:

River Water Quality

Geomorphometry

Predictive Modeling

Talesh Catchments

Regression Analysis

ABSTRACT

Understanding the spatial variation in river water quality and the influencing factors is essential, given the growing demand for safe water in drinking, agricultural, and industrial sectors. This study employed a systematic approach to examine the interactions between watershed characteristics and the spatial distribution of water quality parameters in the Talesh region. The research utilized geological maps, a digital elevation model (DEM), and water quality data from 12 hydrometric stations. To assess the interactions, correlation and regression analyses were conducted between geomorphological variables and water quality indicators, specifically total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC). The correlation analysis revealed significant associations between eight geomorphological variables including watershed area, mean elevation, average slope, main river length, total stream length, bifurcation ratio, drainage density, and the Gravelius coefficient and the two water quality variables. Correlation coefficients ranged from 0.60 to 0.88, indicating strong relationships. Most associations were direct. Notably, the length of the main river exhibited the strongest correlation with both TDS and EC, suggesting that it is the most influential hydro-geomorphic factor in explaining spatial water quality variability in the Talesh catchments. Regression analysis further demonstrated that reliable predictive models for spatial variation in water quality can be developed using geomorphological variables. These models accounted for up to 98% of the variance in water quality parameters (TDS and EC), underscoring the critical role of watershed characteristics in controlling river water quality.

*Corresponding author: Dr. Aghil Madadi E-mail address: aghil48madadi@yahoo.com

How to cite this article: Poorfarashzadeh, F., Madadi, A., & Gharachorlu, M. (2025). Modeling the Spatial Variations of Water Quality Components Using Geomorphometry Variables (Case Study: Talesh River Catchments). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *14*(2), 329-351. https://doi.org/10.22067/geoeh.2025.90461.1527



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Knowledge of the spatial variation in river water quality and the influencing factors is crucial due to the urgent demand for safe water for various uses, including drinking, agriculture, and industry. Recently, river water quality has deteriorated as a result of intensified human activity in densely populated areas. The initial step in the sustainable management of river water quality is to identify the fundamental factors that influence its spatial variation. Among the environmental variables, geomorphological factors play a significant role. The geomorphic characteristics of a watershed influence the transformation of precipitation into runoff and the transport and accumulation of solids and dissolved substances in rivers. The topic of river water quality as an outcome of the watershed system is central to geomorphology, particularly in the context of preserving and restoring river ecosystems. Analyzing the relationships between geology, hydrology, and geomorphology and their connection to river water quality through terrain analysis offers an opportunity to elucidate the specific capacity of geomorphology in modeling hazardous environmental changes. This study aimed to investigate the relationship between catchment characteristics and water quality components to develop predictive models of spatial variations in water quality within the Talesh catchments, which are experiencing increasing water pollution due to the expansion of agriculture and livestock activities, coupled with unstable hydro-geomorphic conditions.

Material and Methods

This study was based on correlation and regression analyses between geomorphometry variables and water quality parameters. The study area consists of 12 mountainous catchments with a total area of 1993 km² in northwestern Iran. The data comprised monthly water quality records from hydrometric stations and an Aster Digital Elevation Model (DEM). Analytical tools included ArcGIS Desktop 10.8, SPSS 19.0, SAGA 7.0, and Excel 2016. The research involved several steps:
First, average values for total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC) were calculated for 12 stations over a 10-year period (2011–2021). Next, 15 geomorphometric variables were derived for each catchment using the 30-meter DEM within GIS and SAGA environments. These variables included: area, mean altitude, mean slope, mean main stream slope, main stream length, total stream length, bifurcation ratio, drainage density, Gravelius coefficient, elongation ratio, concentration time, mean LS factor, mean ruggedness index, mean terrain convexity index, and the percentage of erodible rocks. After compiling the values for the two dependent variables and 15 independent variables, a correlation matrix was used to determine statistically significant relationships ($p \leq 0.05$). To prepare predictive models for TDS and EC, both the Enter and Stepwise regression methods were employed. The Enter method was used to construct initial models, while the Stepwise method was applied to resolve multicollinearity issues and determine the most influential variables.

Results and Discussion

The correlation analysis identified eight geomorphometric variables catchment area, mean elevation, mean slope, main river length, total stream length, drainage density, concentration time, and ruggedness index that were significantly correlated with TDS and EC. Correlation coefficients ranged from 0.60 to 0.88. Moreover, most relationships were direct, indicating that increases in geomorphometric values were generally associated with increased water quality variables. The strongest correlation was observed between main river length and both TDS and EC, indicating that this variable was the most important hydro-geomorphic factor influencing the spatial variation in water quality across the Talesh catchments. Longer river lengths appeared to degrade water quality, possibly due to greater exposure to diverse land use types, increased pollutant input, and enhanced erosion processes facilitated by the steep gradients typical of the region.

The regression analyses confirmed that reliable predictive models could be developed using geomorphometry variables. The Enter method explained up to 98% of the variance in TDS and EC; however, these models suffered from multicollinearity. This issue was resolved in the Stepwise models, which yielded two effective predictive models. The first model, using only main river length (MRL), explained 78% of the variance in TDS and EC. The second model, incorporating both MRL and slope (S), explained 88% of the variance. A comparison of the regression model statistics revealed that the Stepwise models had higher F-values (31–35) and lower significance levels ($p = 0.000$) compared to the Enter models ($F = 10$, $p = 0.02$), indicating their greater validity and predictive accuracy.

Conclusion

Analyzing the spatial variation in river water quality without a systematic watershed-based approach results in incomplete and potentially misleading interpretations. Because watershed characteristics interact with one another and with land use in complex ways, understanding their effects on water quality is essential for effective forecasting and management. This study demonstrated that terrain and regression analyses can be used to construct reliable predictive models of water quality, which can guide planners and resource managers in addressing urban, rural, and industrial water demands. Correlation results also help identify vulnerable regions by evaluating the strength and direction of relationships between geomorphometry variables and water quality indicators (TDS and EC), thereby aiding in the prioritization of watershed management, conservation, and restoration efforts.

The results suggest that large, high-elevation catchments with long main rivers, low slopes, and high drainage density and concentration time are more susceptible to degraded water quality, primarily due to increased TDS and EC. Such catchments require focused conservation measures. While both regression methods provided useful models, the Stepwise method was more effective in identifying the key predictive variables, particularly main river length and slope, which were consistent with previous research. Conversely, the lithology variable was not a significant predictor in this study unlike in earlier studies due to the low proportion (13%) of erosion-prone formations in the catchments and limitations in the definition of this variable. For future work, we recommend incorporating the percentage area of each geological formation as a more refined approach to modeling the influence of lithology on water quality.

جلد ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۳۵۱-۳۲۹ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076



نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی



مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2025.90461.1527 دسترسی آزاد

مدل‌سازی تغییرات مکانی مؤلفه‌های کیفی آب با استفاده از متغیرهای ژئومورفومتری (مطالعه موردی: حوضه‌های آبخیز تالش)

فهیمه پورفراش‌زاده [۱]، عقیل مددی [۲*]، مرتضی قراچورلو [۳]

[۱،۲و۳] گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷

کلمات کلیدی:

کیفیت آب رودخانه

ژئومورفومتری

مدل‌سازی پیش‌بینی

حوضه‌های تالش

تحلیل رگرسیون

چکیده

آگاهی از تغییرات مکانی کیفیت آب رودخانه‌ها و عوامل موثر بر آن به جهت نیاز مبرم مصارف مختلف انسانی به آب سالم اهمیت اساسی دارد. تحقیق حاضر با در پیش گرفتن رویکرد سیستمی و با هدف مدلسازی روابط کمی بین خصوصیات هندسی حوضه آبخیز و تغییرات مکانی مولفه‌های کیفی آب در حوضه‌های آبخیز تالش انجام گرفت. ابزار تحقیق شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، و داده‌های کیفی آب در ۱۲ ایستگاه هیدرومتری بود. به منظور تشخیص و تعیین روابط کمی از تحلیل‌های همبستگی و رگرسیونی بین متغیرهای ژئومورفومتری (۱۵ متغیر) و متغیرهای کیفی کل جامدات محلول (TDS) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) کمک گرفته شد. دست‌یابی به مدل کلی رگرسیونی از طریق روش‌های جبری و گام به گام میسر شد. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که روابط همبسته معنی‌داری بین ۸ متغیر مساحت حوضه، متوسط ارتفاع، متوسط شیب، طول رودخانه اصلی، طول آبراهه‌ها، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، ضریب گراویلیوس، زمان تمرکز، شاخص ناهمواری و دو متغیر کیفی آب وجود دارد. ضرایب همبستگی از ۰/۶ تا ۰/۸۸ متغیر بود. به‌علاوه، با افزایش میزان متغیرهای مستقل فوق، میزان TDS و EC افزایش یافته و درنتیجه کیفیت آب کاهش یافت. در مدل‌های رگرسیونی حاصل از اعمال روش جبری، نزدیک به ۹۸ درصد واریانس متغیرهای کیفی TDS و EC قابل توضیح بود. در مدل‌های رگرسیونی حاصل از اعمال روش گام به گام با استفاده از دو متغیر طول رودخانه اصلی و شیب حوضه به ترتیب ۷۸ و ۸۸ درصد واریانس متغیرهای کیفی TDS و EC قابل توضیح بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با تکیه بر داده‌های رقومی ارتفاعی و مدل‌های آماری رگرسیونی می‌توان به راحتی و با دقت کافی به مدل‌های کارا و مفید جهت پیش‌بینی تغییرات مکانی TDS و EC در رودخانه‌های تالش دست یافت که برای برنامه‌ریزان و طراحان منابع آب مفید می‌باشد.

*نویسنده مسئول: دکتر عقیل مددی E-mail: aghil48madadi@yahoo.com

مقدمه

رودخانه‌ها مهم‌ترین و متداول‌ترین منبع تامین آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعت به‌شمار می‌آیند (Mousavian, Haghizadeh, Dehdari & Hazbavi, 2014). در عصر حاضر با توجه به افزایش جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده ساکنین کره زمین به آب، فشار بر منابع آبی تبدیل به یک چالش زیست‌محیطی شده است (Shakeri Zare, Karam, Saffari & Kiyani, 2020). از اهم مسائل زیست‌محیطی رودخانه‌ها، کیفیت آب آن‌هاست که همیشه در حد استاندارد نبوده و پویاست. این پویایی از آن‌جا ناشی می‌شود که رودخانه‌ها از بسترها و مناطق مختلفی عبور کرده و با محیط پیرامون خود ارتباط مستقیم دارند(Mousavian et al., 2014). امروزه افت کیفیت آب در داخل حوضه‌های رودخانه‌ای به عنوان یک مخاطره محیطی جدی محسوب می‌شود که سلامت انسان و سایر موجودات زنده را تهدید می‌نماید. آلودگی انسان‌زاد منجر به زوال کیفیت آب بیش از نیمی از دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدهای دنیا شده است که ۹۰ درصد منابع آب شرین مایع روی کره زمین را فراهم می‌سازند (Dai, Zhou, Ma & Zhou, 2017). نتایج بررسی‌ها بر روی رودخانه‌های نقاط مختلف ایران نشان می‌دهد که کیفیت اغلب رودخانه‌ها در وضعیت متوسط تا بد قرار دارد (Mahrooyan, Taghavi, Sarai Tabrizi, Babazadeh, 2020). در کنار آلودگی‌های بیولوژیک که عمدتا با عوامل انسانی (فاضلاب‌های شهری و روستایی) در ارتباط هستند، آلودگی‌های فیزیکی مانند فرسایش و تولید رسوب و مواد معلق که با شاخص‌های فیزیکی مانند کدورت آب، شوری و TDS نشان داده می‌شود، ناشی از هر دو عامل انسانی و طبیعی می‌تواند باشد. ابعاد زیست‌محیطی موضوع افت کیفی آب رودخانه‌ها به دلیل ارتباط درهم‌بافته اجزاء و عناصر سیستم‌های رودخانه‌ای وسیع و نگران‌کننده است. برای نمونه، برداشت شن و ماسه از رودخانه در نگاه اول شاید ساده به نظر برسد، اما این پدیده به واسطه گل‌آلود نمودن رودها، مورفولوژی و اکوسیستم رودها را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Jabbari, 2014). نتایج مقایسه کیفیت شیمیایی آب زلال و گل آلود نشان داده است که میزان درصد رسوب (گل آلودگی)، سختی کل (غلظت کلسیم و منیزیم) و شوری آب (هدایت الکتریکی) در آب گل‌آلود بیشتر است (Montaseri, Amir Ahmadi, Zangeneh Asadi, 2019). ارتباط زوال پوشش گیاهی طبیعی (جنگل و مرتع) حوضه‌های آبخیز با افزایش مواد محلول ورودی به رودخانه‌ها به خوبی نشانگر ارتباط به‌هم‌پیوسته و در خور تامل مسائل زیست‌محیطی با یکدیگر است. تغییر جریان نهر و افزایش تولید رسوب از جدی‌ترین عواقب فعالیت‌های قطع درختان هستند که آثار طولانی‌مدتی را در کانال رودخانه و خصوصیات زیستگاه بر جای می‌گذارند (Allan, 1995). پاک‌تراشی جنگل‌ها، آتش‌سوزی و تخریب مراتع که منجر به تشدید فرسایش خاک شده است، باعث افزایش ورود مواد معدنی، نیتروژن، فسفات و رسوب به اکوسیستم‌های آبی شده و زنجیره غذایی موجودات را تغییر می‌دهد (Ghanbarzadeh & Behniafar, 2014). با این اوصاف، آگاهی از تغییرات مکانی مولفه‌های کیفی آب و عوامل موثر بر آن در مناطق مختلف ضرورت می‌یابد.

هر حوضه‌ای ترکیبی بی‌همتا از خصوصیات چشم‌انداز را شکل می‌بخشد که جملگی بر کیفیت آب رودخانه‌ها تاثیرگذار هستند. خصوصیات طبیع حوضه‌های آبخیز نقش موثری در تغییرات کیفی آب رودها دارند. خصوصیات ژئومورفومتری حوضه‌ها مانند تراکم زهکشی، شیب، ارتفاع و ... در یک زمینه دومتغیره یا چندمتغیره، کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برای مثال، شیب زمین به واسطه خیس‌شدگی (ماندابی) فصلی اثر قوی بر کیفیت آب داشته و از طریق تثبیت یا پخش آب‌های سطحی، تغییرات زمانی- مکانی مواد محلول در کف جنگل را تعیین می‌نماید (Varanka, Hjort & Luoto, 2015). دانش ژئومورفولوژی نقش ارزنده‌ای در در تبیین و تفسیر تغییرات مکانی خصوصیات کمی و کیفی آب رودخانه‌ها دارد. این موضوع به دلیل ارتباط تنگاتنگ علم ژئومورفولوژی با سایر علوم زمین و محیط زیست و به‌ویژه ارتباط آن با علم هیدرولوژی و اکولوژی است. ژئومورفولوژی به عنوان علم مطالعه تغییرات

چشم‌انداز در مرکز علم نوظهور سطح زمین[1] قرار دارد، جایی که پیوندهای زوجی قوی بین دینامیک انسانی، زیست‌شناسی، زیست-شیمی، ژئوشیمی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و دینامیک جوی (شامل تغییر اقلیم) برقرار می‌باشد (Murray et al., 2009). در عصر آنتروپوسن، دانش ژئومورفولوژی می‌تواند مهارت‌های مهندسین و اکولوژیست‌ها را ارتقاء بخشیده و رویکرد فرارشته‌ای را در مدیریت منابع زمین شامل گردد (Garcia et al., 2021). موضوع کیفیت آب رودخانه‌ها به عنوان برونداد سیسستم حوضه آبخیز در کانون توجه دانش ژئومورفولوژی با هدف حفظ و تجدید حیات اکوسیستم‌های رودخانه‌ای است. کشف ارتباط بین متغیرهای زمین‌شناسی، هیدرولوژی، ژئومورفولوژی با یکدیگر و با خصوصیات کیفی آب رودخانه‌ها با تکیه بر تکنیک «تحلیل سطح زمین[2]» یا ژئومورفومتری فرصتی را پیش می‌آورد تا توان ویژه دانش ژئومورفولوژی در مدل‌سازی تغییرات محیطی مخاطره‌آمیز روشن‌تر گردد. در این میان حتی اثرات فعالیت انسانی بر خصوصیات کیفی آب رودخانه‌ها نیز در اتباط با توزیع لندفرم‌ها و شدت و ضعف فرایندهای ژئوموفیک می‌باشد. برای مثال، کشاورزان از مناطق در معرض رواناب شدید و سیلاب دوری کرده و نواحی نسبتا هموار و دور از سیلاب را برای کشت و زرع انتخاب می‌نمایند.

منطقه تالش واقع در شمال غرب ایران و استان گیلان یکی از نواحی خاص جغرافیایی است که با مسائل و معضلات زیست‌محیطی عدیده‌ای روبروست. گسترش ناموزون و بی‌رویه فعالیت‌های کشاورزی و دام‌پروری در کوهپایه‌ها و دامنه‌های کوهستانی باعث بروز مسئله جنگل‌زدایی شده است. به همان منوال، تغییر کاربری نواحی روستایی که در همسایگی دره‌های جنگلی هستند، به کاربری شهری و مصنوعی باعث تخریب پوشش طبیعی زمین شده است (Zia -Tavana & Amir Entekhabi, 2007; Amir Entekhabi, 2019). پیامد این امر بروز فرایندهای فرسایش و سیل در منطقه بوده است که نمود ویژه آن در افت کیفیت آب رودخانه‌ها قابل ردگیری و مشاهده است. در این راستا، حفظ سلامت حوضه و اولویت‌بندی مکانی عملیات آبخیزداری و احیاء حوضه‌های رودخانه‌ای تالش منوط به کسب آگاهی از نحوه ارتباط بین خصوصیات حوضه آبخیز و متغیرهای کیفی آب می‌باشد که تاکنون مور توجه قرار نگرفته است. پژوهش حاضر با درنظر گرفتن این ضرورت و با هدف مدل‌سازی تغییرات مکانی کیفت آب رودخانه‌ها توسط متغیرهای ژئومورفومتری انجام شد. انتظار می‌رود تهیه چنین مدل‌هایی به برآورد مولفه‌های کیفی آب با صرف زمان و هزینه کم کمک نماید. به‌علاوه آگاهی از نحوه ارتباط بین خصوصیات ژئومورفومتری حوضه‌ها و خصوصیات کیفی آب رودها می‌تواند توجه مدیران و برنامه-ریزان منطقه‌ای را به تمرکز بر پهنه‌های حساس در برابر افت کیفی آب رودخانه‌ها با درنظر گرفتن پیشرانه‌های فیزیکی مهم و موثر بر کیفیت آب رودها به منظور رسیدن به توسعه پایدار حوضه‌های رودخانه‌ای معطوف نماید. در ضمن، استفاده از متغیرهای متعدد که نشانگر جنبه‌های مختلف خصوصیات هندسی حوضه و ارتباط فرم- فرایند در مباحث ژئومورفولوژی است، می‌تواند به عنوان نوآوری این پژوهش مطرح باشد.

پیشینه تحقیق

اهمیت موضوع کیفیت آب رودخانه‌ها در علوم زمین و محیط زیست باعث گرایش سمت و سوی تحقیقات کاربردی به مدلسازی و تشخیص رفتار کیفی آب رودخانه‌ها در ارتباط با عوامل مختلف محیطی شده است. یی و همکاران (Ye, Cai, Liu & Cao, 2009) طی مطالعه تأثیر توپوگرافی و کاربری زمین بر کیفیت آب رودخانه ژیانگ‌ژی واقع در کشور چین این نتیجه رسیدند که عوامل توپوگرافی و کاربری زمین به ترتیب قادر به تعیین ۲۶ و ۱۰/۲ درصد واریانس متغیر کیفیت آب بود. وارانکا و همکاران (Varanka et al., 2015) جهت پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب در حوضه‌های بوره‌آل فنلاند از عوامل ژئومورفولوژیک استفاده کردند. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که نهشته‌های کواترنری عوامل مهمی هستند که کیفیت آب را کنترل می‌نمایند.

1- Science of Earth’s Surface

2- Terrain Analysis

همچنین تغییرات میزان اسیدیته توسط سنگ‌بستر برهنه و نیز توپوگرافی حوضه قابل تبیین بود. آلمادا و همکاران (Almada et al., 2019) در بررسی اثرات عوامل محیطی بر کیفیت آب رودخانه‌ها در جنوب آمازون دریافتند که متغیرهای طول رود و شیب حوضه در زمره مهم‌ترین پیش‌بین‌گرهای کیفیت آب بودند. لیو و همکاران (Liu et al., 2021) طی مطالعه‌ای که در خصوص اثر متقابل کاربری زمین، خاک و توپوگرافی بر تغییرات کیفیت آب رودها در حوضه‌های کشاورزی کشور چین داشتند، به افزایش نیتروژن و فسفر در شیب‌های میانی (۱۶ تا ۲۸ درجه) و کاهش آن‌ها در شیب‌های تند (۲۸ تا ۸۰ درجه) اذعان کردند. گوانانگا و همکاران (Guananga et al., 2022) جهت تهیه شاخص کیفیت آب و ارتقاء آن در حوضه گوانو کشور اکوادور از متغیرهای شیب و دبی جریان استفاده کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند که با افزایش شیب زمین و دبی جریان مخصوصا در بالادست حوضه بر توان خودپالایی رودخانه افزوده شده و کیفیت آب رو به بهبود می‌گذارد. یمانی و همکاران (Yamani, Moghimi, Jodari-E-Eyvazi, Mohamadi & Issaee, 2010) تأثیر عوامل اکوژئومورفولوژی بر کیفیت شیمیایی آب رودخانه کر را مورد مطالعه قراردادند. نتایج حاصل نشان داد که سازندهای زمین‌شناسی و رواناب متأثر از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه در کیفیت آب رودخانه مؤثر بوده‌اند.

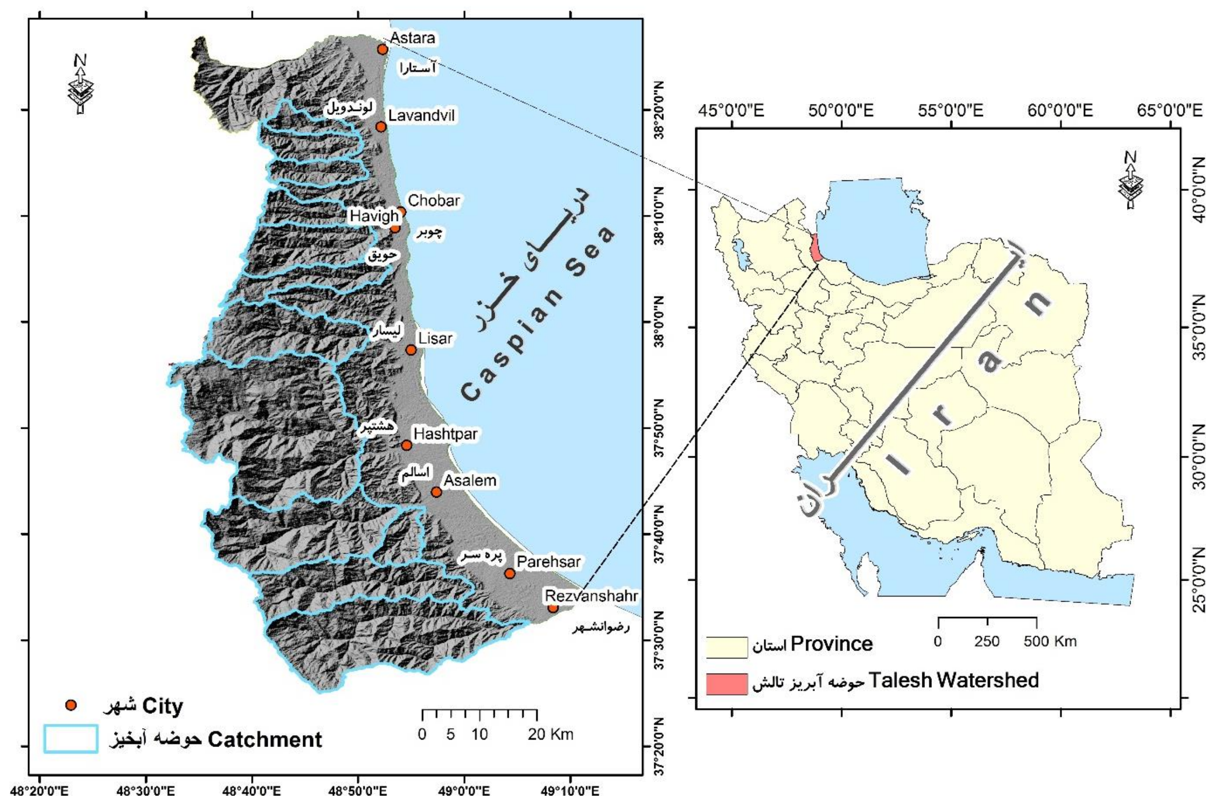
عادلی (Adeli, 2012) طی بررسی وضعیت کیفی منابع آب شهرستان گرگان به نقش موثر عوامل سنگ‌بستر، جهت جریان رودخانه، پوشش زمین بر ساختار کیفی آب اذعان داشت. جباری (Jabbari, 2014) در بررسی اثرات عوامل ژئومورفولوژی بر آلودگی رودخانه سیروان پی بردند که عوامل زمین‌شناسی، مراحل تحول حوضه و پوشش زمین، تعیین‌کننده تغییرات مکانی مقدار کدورت و مواد محلول جامد در حوضه مورد مطالعه هستند.

رضائی مقدم و همکاران (Rezaei Moghaddam, Nikjoo, Hejazi, Khezri & Kazemi, 2017) نیز به اثرات عوامل هیدروژئومورفولوژی (شیب، ارتفاع، دبی، رسوب) بر تغییرات کیفیت آب رودخانه سیمینه‌رود توجه نمودند. فرخانی (Farkhani, 2021) با بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه هراز به این نتیجه رسید که مولفه‌های ژئومورفولوژیک واریزه‌ها و زمین‌لغزه‌ها در زمره منابع آلاینده طبیعی آب این رودخانه هستند. دلبری و همکاران (Delbari et al., 2022) طی ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن دریافتند که میزان EC و TDS با حرکت از بالادست رودخانه به پایین‌دست آن دچار افزایش می‌شود. به‌علاوه، ایشان در کنار عوامل انسانی چون فاضلاب‌های شهری و روستایی و صنایع، به اثرات ژئومورفیک برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه بر کاهش کیفیت آب رودخانه اذعان داشتند. همایون نژاد و امیریان (Homayoonnezhad & Amirian, 2024) طی پایش کیفی آب دریاچه چاه‌نیمه در استان سیستان و بلوچستان به تغییرات مکانی قابل توجهی دست یافت که یکی از دلایل اصلی این تغییرات عبارت از ورود رسوبات و املاح زیاد رودهای سیلابی ورودی به دریاچه مذکور بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تالش با مساحت ۳۲۰۰ کیلومترمربع در شمال غرب ایران و با مختصات ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبخیز تالش

Fig. 1. Location of Talesh carchments

خط‌الرأس حوضه را رشته‌کوه تالش تشکیل می‌دهد که با راستای جنوبی – شمالی از دره سفیدرود در جنوب تا زمین‌های پست مغان در شمال کشیده شده است و در واقع، جداکننده دو استان گیلان و اردبیل از یکدیگر است. در این بین، یک خط شکستگی بزرگ به نام گسل آستارا (گسل تالش) با روند شمالی ـ جنوبی این کوه‌ها را از چاله خزر جدا کرده است. وجود شکستگی‌ها و گسلش‌های متعدد در منطقه عامل مهمی در بروز فرایندهای ژئومورفیک و تغییر چهره ناهمواری‌های بوده است. فرو افتادن حوضه خزر و افزایش ارتفاع نسبی بین قلل کوهستان‌ها و پایکوه‌های ساحلی که ناشی از حضور گسل استارا و شعبات فرعی آن بوده است، علاوه بر ایجاد کوهستان‌هایی نامتقارن، تشدید فرسایش آب‌های روان را نیز به دنبال داشته است. در چنین شرایطی، جریان آب‌ها، دامنه‌های تالش را که مسلط به جلگه ساحلی می‌باشند، عمیقا حفر نموده‌اند (Hajikarimi, Shayan & Khoshraftar, 2020). بلندترین و پست‌ترین نقطه تالش به ترتیب با ارتفاع ۳۲۳۰+ و ۲۰- متر مشخص می‌باشد. دامنه شیب منطقه نیز بسیار متنوع بوده و از صفر تا ۶۸ درجه متغیر است. چنین تنوع و اختلاف توپوگرافی باعث تنوع شرایط زیست‌محیطی در حوضه آبریز تالش شده است. وجود پوشش جنگلی اثر مثبتی در کاهش گل‌آلودگی و بهبود کیفیت آب رودخانه‌ها دارد. وجود رطوبت رسیده از دریای خزر نقش مهمی در پیدایش و حفظ این جنگل‌ها داشته است. به طور کلی، عامل فاصله از دریای خزر نقش تعیین‌کننده‌ای در اقلیم منطقه داشته و بیشترین بارش در نواحی شرقی و جلگه تالش اتفاق می‌افتد. متوسط بارندگی سالانه آستارا برابر با۱۲۵۰ میلی‌متر و تالش برابر با ۹۱۴ میلی‌متر است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی و از نظر روش توصیفی ـ تحلیلی می‌باشد. منابع کتابخانه‌ای مورد استفاده شامل نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر، داده‌های ماهانه کیفیت آب بود. جهت ارزیابی و تعیین شدت و جهت روابط بین متغیرهای ژئومورفومتری و کیفیت آب از روش‌های تحلیل فضایی- آماری از جمله تحلیل همبستگی و رگرسیون استفاده گردید. در این تحقیق دو متغیر کیفی آب شامل کل جامدات محلول (TDS) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) که در بیشتر تحقیقات مورد استناد بوده‌اند، به عنوان متغیرهای وابسته مدنظر قرار گرفتند. TDS نشان‌دهنده تمامی مواد جامد محلول در آب شامل آنیون‌ها، کاتیون‌ها و مواد آلی و فلزات است. بنابراین تغییرات این پارامتر می‌تواند به عنوان نماد کلی کیفیت آب رودخانه‌ها در یک منطقه به کار برده شود. EC نیز به عنوان نماینده تام نمک‌های حل‌شده در آب مطرح می‌باشد. به عبارتی، سایر عناصر کیفی آب چون فسفات، کلر، سدیم، کلسیم و ... همگی به نوعی با این دو مولفه اصلی کیفیت آب رودخانه‌ها در ارتباط هستند. مراحل کار به شرح زیر بود:

آماده‌سازی و آزمون کفایت آماری داده‌ها

پس از اخذ داده‌های نمونه کیفیت آب ثبت‌شده از سازمان آب منطقه‌ای نسبت به انتخاب ایستگاه‌های دارای آمار کافی و صحیح اقدام شد. بدین ترتیب که ایستگاه‌هایی که با نبود داده‌های آماری در برخی سال‌ها یا ماه‌ها بودند، ناقص تشخیص داده شده و از روند بررسی کنار گذاشته شدند. به‌علاوه، ایستگاه‌های که سری آماری آن‌ها بعضا با داده‌های نامتعارف و ناهمگون با کل داده‌ها مواجه بود یا داده‌های تکراری غیرمنطقی داشتند، به دلیل وجود اشتباهات در اندازه‌گیری یا ثبت آن‌ها حذف شدند. در نهایت، ایستگاه‌های منتخب شامل ۱۲ ایستگاه هیدرومتری بود که مشخصات آن‌ها به ترتیب از سمت شمال به جنوب منطقه در جدول ۱ آورده شده است. سری زمانی مورد استفاده از سال آبی ۱۳۹۱ تا سال آبی ۱۴۰۰ را شامل گردید. قبل از محاسبه میانگین ماهانه TDS (میلی‌گرم بر لیتر) و EC (میکروموس بر سانتی‌متر) برای هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری، لازم بود تا داده‌های پرت و دور از واقعیت حذف شوند که این کار با استفاده از محاسبه نمره استاندارد (z) برای داده‌های نمونه میسر شد. داده‌هایی که نمره استاندارد آن‌ها خارج از بازه ۳± بود، به عنوان داده پرت محسوب شده و از مجموعه داده‌های نمونه کنار گذاشته شد (Rostampour, 2020). پس از این کار نوبت به آزمون ران[1] رسید که جهت آگاهی از تصادفی بودن داده‌های نمونه صورت گرفت. این آزمون یکی از مناسب‌ترین آزمون‌ها برای بررسی شرط تصادفی بودن داده‌هاست. با استفاده از آزمون مشخص می‌شود تا چه حد دنباله‌ای از اعداد به صورت تصادفی گردآوری شده‌اند. بیان فرضیه‌های آماری به صورت زیر است:

فرض صفر : توزیع داده‌ها به صورت تصادفی است.

فرض بدیل : توزیع داده‌ها به صورت تصادفی نیست.

به لحاظ معنی‌داری می‌توان سطح ۰/۰۵ یا ۰/۰۱ را برای این آزمون درنظر گرفت. چنان‌چه معنی‌داری حاصل از اجرای آزمون بزرگ‌تر از سطح معنی‌داری باشد، تصادفی بودن داده‌ها تایید می‌شود. تمامی این محاسبات در محیط نرم‌افزاری SPSS 19.0 صورت گرفت.

1-Run Test

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و حوضه‌های آبخیز تالش

Table 1- Charchteristics of Talesh hydrometry stations and catchments

نام ایستگاه هیدرومتری Hydrometry Satation	نام رودخانه River	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longititude	ارتفاع ایستگاه هیدرومتری (متر) Altitude of Hyromtry Station	مساحت حوضه (کیلومترمربع) Catchment Area
آب‌ویر بالا Abvirbala	دیناچال Dinachal	37-34-42	49-00-51	130	202/3
اوستاقاسم محله OstaghasemMahaleh	شیرآباد Shirabad	38-06-06	48-54-08	54	64/1
باش‌محله BashMahaleh	لوندویل Lavandvil	38-18-37	48-52-11	38	37/4
بالامحله BalaMahaleh	چوبر Choobar	38-10-54	48-53-36	73	61/9
پونل Poonel	شفارود Shafarood	37-31-47	49-06-05	97	348/6
خان‌حیاطی Khanhayati	چلوند Chelond	38-17-07	48-50-16	25	61/6
خرجگیل Kharjaghil	ناورود Navrood	37-42-41	48-53-44	139	264/8
زرمی Zarmi	لیسار Lisar	37-58-36	48-51-11	150	174/9
صفرمحله SafarMahaleh	حویق Havigh	38-08-24	48-51-37	60	126/8
قربان محله GhorbanMahaleh	لمیرچای Lamirchay	38-13-40	48-50-43	33	51/6
کله‌سرا Kalehsara	خاله‌سرا Khalesara	37-42-08	48-56-17	53	49/2
ماشین‌خانه Mashinkhaneh	کرگانرود Korghanrood	37-47-42	48-50-11	147	528/1

استخراج خصوصیات هندسی یا ژئومورفومتری حوضه‌های آبخیز

حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه شامل ۱۲ حوضه با مساحت کلی ۱۹۹۳ کیلومترمربع می‌باشد. محاسبه و تعیین خصوصیات ژئومورفومتری حوضه‌ها با استفاده از قابلیت‌های پردازشی نرم‌افزارهای GIS و SAGA صورت گرفت. پس از آن که استخراج حوضه‌های آبخیز با استفاده از الحاقیه آرک هیدرو و بر مبنای ایستگاه‌های هیدرومتری به عنوان خروجی حوضه صورت گرفت، جمعا ۱۵ متغیر مستقل ژئومورفومتری مورد بررسی قرار گرفت که به غیر از متغیر سنگ‌شناسی، سایر متغیرها همگی از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۳۰ متر استخراج گردید. قبل از استخراج حوضه‌ها و متغیرهای ژئومورفومتری از طریق پیش‌پردازش نقاط چاله زائد در سطح DEM نسبت به پر کردن این چاله‌ها و حفظ پیوستگی جریان و ترسیم آبراهه‌ها اقدام شد. خصوصیات ژئومورفومتری حوضه‌ها شامل درصد سازندهای حساس به فرسایش، مساحت، ارتفاع متوسط، شیب متوسط، شیب متوسط آبراهه اصلی، نسبت انشعاب، طول آبراهه‌ها، طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز، تراکم زهکشی، ضریب فشردگی، نسبت کشیدگی، متوسط تحدب سطح زمین، متوسط فاکتور طول دامنه (LS)، متوسط شاخص ناهمواری زمین بود.

تحلیل همبستگی

پس از این که از صحت و درستی و همچنین تصادفی بودن داده‌های هیدرومتری کیفیت آب اطمینان حاصل گردید، محاسبه مقادیر میانگین TDS و EC برای ایستگاه‌های مورد نظر از یک طرف و محاسبه مقادیر متغیرهای ژئومورفومتری برای حوضه‌های مورد مطالعه از طرف دییگر انجام شد. در گام بعدی، آزمون همبستگی بین ۱۵ متغیر ژئومورفومتری و ۲ متغیر کیفی آب در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام گرفت. این سطح معنی‌داری در علوم انسانی مورد استعمال بوده و از شرایط سخت‌گیرانه آزمون‌های تجربی پرهیز می‌نماید. به‌علاوه در این‌جا داده‌های هیدرولوژی (کیفیت آب) مورد نظر است که داده‌ای تصادفی محسوب شده و با عدم قطعیت روبرو هستند، بنابراین درنظر گرفتن ۵ درصد احتمال برای پذیرش فرض صفر (عدم وجود روابط معنی‌دار)، منطقی است.

تحلیل رگرسیون چندمتغیره

در تحقیقات رگرسیون چندگانه، هدف، پیدا کردن متغیرهای پیش‌بینی است که تغییرات متغیر ملاک را چه به‌تنهایی و چه به‌صورت مشترک پیش‌بینی کند. پس از انجام آزمون همبستگی و مشخص شدن شدت و جهت رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته، نسبت به گزینش آن دسته از متغیرهای مستقل که از روابط معنی‌دار با متغیرهای وابسته برخوردار بودند، اقدام شد. سپس این متغیرهای مستقل ژئومورفومتری و متغیرهای وابسته TDS و EC تحت آزمون رگرسیونی چندمتغیره واقع شد. در پژوهش حاضر از دو روش جبری و گام به گام جهت انجام آزمون‌های رگرسیونی چندمتغیره در محیط نرم‌افزاری SPSS 19.0 بهره گرفته شد. در روش جبری با توجه به این که تمامی متغیرهای مستقل وارد مدل می‌شوند، ممکن است متغیرهای با تاثیر جزئی و غیرمعنی‌دار در کنار متغیرهای مهم و اصلی حضور یابند. بنابراین نیاز است تا به روش دیگری این متغیرهای فرعی از مدل نهایی حذف شوند. در روش گام به گام، در هر مرحله متغیری که بیشترین ارتباط را با متغیر وابسته دارد، وارد می‌شود و این متغیرها تا جایی ادامه می‌یابد که همه متغیرهایی که می‌توانند برای برآورد متغیر وابسته مفید باشند، وارد مدل می‌شوند. لازم به ذکر است که سطح معنی‌داری روابط رگرسیونی ۰/۰۵ و کمتر درنظر گرفته شد. انتخاب این سطح معنی‌داری به جای سطح ۰/۰۱ به دلیل پذیریش آن در تحقیقات علوم انسانی و نیز امکان استفاده از هر دو روش جبری و گام به گام در تحلیل‌های رگرسیونی است، چه ممکن است روش جبری سطح معنی‌داری ۰/۰۱ یا کمتر را نداشته باشد، ولی این روش مقدمه‌ای برای ورود به روش‌های دقیق‌تر پیش‌بینی است.

نتایج و بحث

آزمون همگنی (کلموگروف-اسمیرنوف)

قبل از انجام همبستگی پیرسون لازم است تا از همگنی داده‌های متغیر وابسته آگاهی پیدا نماییم. این کار از طریق «آزمون کولموگروف-اسمیرنف» صورت می‌گیرد. هدف، آگاهی از این واقعیت است که توزیع داده‌های متغیر وابسته نرمال است یا خیر. نتایج این آزمون در جدول ۲ مشاهده می‌شود. با توجه به این که معنی‌داری حاصل بالای ۰/۰۵ به دست آمده است، بنابراین می‌توان گفت که توزیع متغیر وابسته نرمال بوده و پیش‌شرط ورود به تحلیل‌های همبستگی پیرسون و رگرسیونی برقرار است.

جدول ۲- نتایج آزمون همگنی بر روی داده‌های TDS و EC

Table 2- Results of Homogenity test on TDS and EC dat

متغیر Variable	تعداد نمونه Sample Number	نمره Z Z Score	معنی‌داری (Sig.) Significance
کل جامدات محلول (TDS) Total Dissolved Solids (TDS)	12	0/883	0/417
هدایت الکتریکی (EC) Electrical Conductivity (EC)	12	0/878	0/423

تحلیل همبستگی بین متغیرهای ژئومورفومتری و متغیرهای کیفی آب

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین متغیرهای ژئومورفومتری و متغیرهای کیفی آب طبق جدول (۳) مشخص شد. به لحاظ روابط معنی‌دار یا غیرمعنی‌دار، نتایج جدول همبستگی نشان می‌دهد که برای هر یک از این متغیرهای وابسته کل جامدات محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC)، هشت رابطه معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ ≥ برقرار است. متغیرهای مستقلی که از روابط معنی‌دار با متغیرهای وابسته برخوردارند عبارت‌اند از: مساحت حوضه، متوسط ارتفاع، متوسط شیب، طول رودخانه اصلی، طول آبراهه‌ها، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، ضریب گراویلیوس، زمان تمرکز، شاخص ناهمواری. بالاترین ضریب همبستگی در روابط حاصل برابر با ۰/۸۸ حاصل شد که متعلق به روابط متغیرهای طول رودخانه اصلی و زمان تمرکز با متغیرهای TDS و EC می‌باشد. پس از آن، روابط دو متغیر مساحت حوضه و طول آبراهه‌ها با متغیرهای TDS و EC بالاترین ضریب همبستگی (۰/۸۲) را دارا می‌باشد.

در کنار شدت و ضعف روابط بین متغیرهای ژئومورفومتری و کیفیت آب، جهت روابط (مستقیم یا معکوس) آن‌ها در زمینه مدیریت منابع آب و خاک مهم می‌نماید. اولین متغیر مستقل مهم عبارت از مساحت حوضه می‌باشد که به عنوان نماینده تام خصوصیات هندسی حوضه‌های آبخیز روابط مستقیمی با متغیرهای کیفی آب دارد. به عبارتی، با افزایش مساحت حوضه کیفیت آب رودخانه‌ها کاهش می‌یابد. این واقعیت تا حدودی به کاهش پوشش جنگلی حوضه‌های آبخیز تالش با افزایش مساحت آن‌ها برمی‌گردد. با افزایش مساحت حوضه‌ها بر درصد زمین‌های بایر و رخنمون‌های سنگی در معرض فرسایش و نیز زمین‌های کشاورزی افزوده شده و درنتیجه، یون‌های محلول ورودی به رودخانه‌ها افزایش می‌یابد. به‌علاوه، با افزایش مساحت حوضه، تعداد آبراهه‌ها افزایش یافته و درنتیجه، حجم مواد حمل‌شده چه به صورت محلول و چه به صورت جامد افزایش می‌یابد. این موضوع پیش‌تر به صورت رابطه مستقیم مساحت حوضه با میزان آبدهی و رسوبدهی حوضه‌های آبخیز تالش اثبات گردیده است (Poorfarashzadeh, Madadi & Asghari, 2024). رابطه مستقیم طول آبراهه‌ها با متغیرهای کیفی آب نیز به این واقعیت اشاره دارد.

متغیر ارتفاع از سطح دریا به عنوان مهم‌ترین عامل توپوگرافی رابطه مستقیم و نزدیکی با میزان جامدات محلول و هدایت الکتریکی دارد. این رابطه نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع حوضه‌ها بر میزان جامدات محلول افزوده شده و هدایت الکتریکی که نشانگر املاح نمکی می‌باشد، افزایش می‌یابد. این واقعیت بدین صورت قابل توجیه است که به دلیل تخریب مکانیکی بیشتر در ارتفاعات بالا و نیز ذوب بیشتر برف‌ها در حوضه‌های کوهستانی، شرایط لازم برای هوازدگی بیشتر سنگ‌ها و رهاسازی مواد محلول فراهم می‌شود. به‌علاوه، کاهش پوشش جنگلی در مرتفعات بالای ۲۰۰۰ متری نیز می‌تواند مزید بر علت بوده و باعث افت کیفیت آب رودها گردد. جهت روابط دومین متغیر توپوگرافی یعنی شیب زمین کاملا ناهمسو با متغیر ارتفاع از سطح دریاست. با افزایش شیب زمین در حوضه‌های آبخیز تالش، کیفیت آب رودخانه‌ها ارتقاء می‌یابد. این واقعیت از بسیاری جهات قابل توجیه است. با افزایش شیب زمین شدت تلاطم آب و خودپالایی رودخانه افزایش یافته و آب رقیق‌تر می‌شود. به لحاظ آنتروپوژنیک نیز چنین رابطه‌ای قابل انتظار است، به‌طوری‌که در شیب‌های بالا به دلیل محدودیت دخالت‌های انسانی اعم از کشاورزی، دامداری، صنایع و ... کیفیت آب رودها ارتقاء می‌یابد. این نتیجه تا حدودی با نتایج لیو و همکاران (Liu et al., 2021) همخوانی دارد. ایشان نیز به کاهش مقادیر کیفی آب با افزایش شیب زمین اشاره داشتند.

جدول ۳- نتایج آزمون همبستگی بین متغیرهای ژئومورفومتری و متغیرهای کیفی آب

Table 3- Results of correlation test between geomorphometry variables and water quality variables

متغیر مستقل Independent Variable	آماره‌های آزمون همبستگی Statistics of Correlation Test	متغیر وابسته Dependent Variable	
		کل جامدات محلول (TDS) Total Dissolved Solids (TDS)	هدایت الکتریکی (EC) Electrical Conductivity (EC)
مساحت حوضه Catchment Area	R	0/82	0/81
	Sig.	0/001*	0/001*
متوسط ارتفاع Mean Altitude	R	0/75	0/74
	Sig.	0/005*	0/005*
متوسط شیب Mean Slope	R	- 0/59	- 0/57
	Sig.	0/041*	0/044*
متوسط شیب رودخانه اصلی Mean Slope of Main River	R	0/17	0/16
	Sig.	0/587	0/598
طول رودخانه اصلی Main River Length	R	0/88	0/88
	Sig.	0/000*	0/000*
طول آبراهه‌ها Lengths of streams	R	0/82	0/81
	Sig.	0/001*	0/001*
نسبت انشعاب Bifurcation Ratio	R	- 0/21	- 0/22
	Sig.	0/514	0/511
تراکم زهکشی Drainage Ddensity	R	0/75	0/73
	Sig.	0/005*	0/006*
کشیدگی حوضه Catchment Elongation	R	0/27	0/272
	Sig.	0/386	0/393
ضریب گراویلیوس Gravilius Coefficient	R	0/19	0/19
	Sig.	0/566	0/555
زمان تمرکز Concentration Time	R	0/88	0/87
	Sig.	0/000*	0/000*
متوسط فاکتور طول دامنه Mean Slope Length Factor	R	- 0/38	- 0/37
	Sig.	0/255	0/23
متوسط شاخص ناهمواری Mean Ruggedness Index	R	- 0/61	- 0/6
	Sig.	0/035*	0/038*
متوسط تحدب سطحی Mean Terrain Convexity	R	- 0/5	- 0/5
	Sig.	0/101	0/102

درصد سازندهای حساس به فرسایش Percentage of Erodible Rocks	R	0/5	0/51
	Sig.	0/105	0/101

با توجه به ضرایب همبستگی حاصل شاید بتوان گفت که طول رودخانه اصلی، مهم‌ترین مولفه خطی و هیدروژئومورفیک در تبیین تغییرات مکانی مولفه‌های کیفی آب در حوضه‌های رودخانه‌ای تالش باشد. افزایش این متغیر اثر منفی در کیفیت آب رودخانه-های تالش دارد. این واقعیت دور از انتظار نیست، چرا که هر چه بر طول رودخانه اصلی افزوده می‌شود، عبور رودخانه از محیط‌های مختلف و با تنوع کاربری و پوشش زمین بیشتر شده و ممکن است در معرض ورود آلاینده‌های مختلف قرار گیرد. به‌علاوه، به علت طول زیاد رودخانه‌ها ممکن است تداوم فرایندهای فرسایشی فزونی گرفته و با توجه به شیب قابل‌توجه رودخانه‌های اصلی تالش، انتقال هنگفت مواد محلول به آسانی صورت گیرد. جهت روابط حاصل در خصوص طول رودخانه اصلی در مورد طول کل آبراهه‌ها نیز صادق می‌باشد. تراکم زهکشی یکی از دیگر از خصوصیات ژئومورفومتری موثر در شدت و ضعف رواناب و رسوبدهی حوضه‌های آبخیز می‌باشد. رابطه مستقیمی که بین این متغیر و متغیرهای کیفی آب وجود دارد، بیانگر این واقعیت است که با افزایش میزان تراکم زهکشی از میزان کیفیت آب رودخانه‌ها در خروجی حوضه‌ها کاسته می‌شود. تراکم زهکشی بالا نشانگر زمین‌های نفوذناپذیر و تبدیل سریع‌تر بارش به رواناب و افزایش نرخ فرسایش و رسوبدهی است. بنابراین رابطه حاصل دور از انتظار نیست.

زمان تمرکز نشانگر مدت زمانی است که یک قطره آب در طولانی‌ترنی مسیر رودخانهپیماید تا خود را به خروجی حوضه برساند. رابطه مثبت حاصل بین این متغیر و متغیرها یکیفی آب قابل انتظار است، چرا که هر چه زمان تمرکز بالا رفته و قله هیدروگراف پهن‌تر می‌شود، حجم بیشتری از مواد محلول در داخل رودخانه انتقال می‌یابد. حوضه‌های کشیده که با زمان تمرکز بالا مشخص می‌باشند، فرصت بیشتری به ته‌نشست و تثبیت مواد محلول در بستر رودخانه و عوارض داخل کانال چون نیمکت‌های شنی می‌دهند. درنتیجه، آلودگی ناشی از تمرکز TDS و EC در رودخانه‌ها افزایش می‌یابد. به‌علاوه، بالا رفتن زمان تمرکز یعنی مدت زمان بیشتر برای یک قطره آب جهت همراه ساختن مواد محلول با خود است.

آخرین گروه از متغیرهای ژئومورفولوژی که روابط آن‌ها با متغیرهای کیفی آب بعد از متغیرهای ارتفاعی و هیدرولوژی مورد بررسی قرار گرفت، متغیرهای ناهمواری بود که نشانگر فعالیت مورفوژنز می‌باشد. شاخص ناهمواری از رابطه معکوسی با متغیرهای کیفی آب برخوردار است. چنین اثر مثبت افزایش ناهمواری زمین در ارتقاء کیفیت آب رودخانه‌ها می‌تواند به دلیل کاهش فشار آنتروپوزنیک و محدودیت فعالیت کشاورزی در محیط‌های ناهموار باشد. به‌علاوه، نقش مهم حفاظتی جنگل در این بین برجسته بوده و عموما پهنه‌های ناهموار از رخداد جنگل‌زدایی در امان می‌مانند. انگلهارت و همکاران (Engelhardt, Weisberg & Chambers, 2011) چنین بیان داشتند که گونه‌های جنگلی در حوضه‌های ناهموار وفور بیشتری نسبت به حوضه‌های کم‌ناهموار دارند.

تحلیل رگرسیونی روابط بین متغیرهای ژئومورفومتری و متغیرهای کیفی آب

ارزیابی برهمکنش‌ها بین متغیرهای محیطی زمانی مفید واقع می‌شود که به یک پیش‌بینی یا برآورد پدیده بینجامد. پیش‌بینی‌ها در صورتی امکان‌پذیر است که بین متغیرهای مورد نظر، ارتباط معنی‌داری وجود داشته باشد. نتایج تحلیل‌های همبستگی نشان داد که از بین ۱۵ متغیر ژئومورفومتری، ۸ متغیر از همبستگی معنی‌داری با متغیرهای کیفی آب برخوردار هستند. بنابراین می‌توان به مدل‌های پیش‌بین از مولفه‌های کیفی آب دست یافت. اما قبل از انجام آزمون رگرسیونی لازم است تا از عدم هم‌خطی بین متغیرهای مستقل کسب اطمینان حاصل شود تا واریاس قابل تبیین متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل دچار افزونگی نشود. اولین گام در این زمینه بررسی ماتریس همبستگی بین متغیرهای مستقل برگزیده است. این ماتریس در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به ارقام حاصل مشخص می‌شود که همبستگی معنی‌داری بین بیشتر متغیرهای مورد بررسی وجود دارد. در این بین، متغیر مساحت

طبق انتظار رابطه بسیاری نزدیکی با بسیاری از متغیرهای دیگر داشته و احتمالا اولین متغیری باشد که در معادلات رگرسیونی پیش‌بین کنار گذاشته می‌شود. در مقابل، متغیر شیب حوضه تنها یک رابطه معنی‌دار با سایر متغیرها داشته و احتمال می‌رود جزو بهترین متغیرهای پیش‌بین مولفه‌های کیفی آب باشد.

جدول ۴- نتایج آزمون همبستگی بین متغیرهای ژئومورفومتری
Table 4- Results of correlation test between geomorphometry variables

		مساحت حوضه Catchment Area	ارتفاع Altitude	شیب Slope	طول رودخانه اصلی Main River Length	طول آبراهه‌ها Lengths of Streams	تراکم زهکشی Drainage Ddensity	زمان تمرکز Concentration Time	شاخص ناهمواری Ruggedness Index
مساحت حوضه Catchment Area	R		0/63	- 0/43	0/85	0/99	0/74	0/85	- 0/44
	Sig.		0/03*	0/17	0/000*	0/000*	0/006	0/000*	0/151
ارتفاع Altitude	R	0/626		- 0/3	0/75	0/63	0/75	0/67	- 0/25
	Sig.	0/03*		0/343	0/005*	0/029*	0/005*	0/017*	0/423
شیب Slope	R	- 0/43	- 0/3		- 0/34	- 0/44	- 0/54	- 0/34	0/99
	Sig.	0/167	0/343		0/282	0/153	0/08	0/275	0/000*
طول رودخانه اصلی Main River Length	R	0/85	0/75	- 0/34		0/84	0/63	0/99	- 0/36
	Sig.	0/000*	0/005*	0/282		0/001*	0/027*	0/000*	0/246
طول آبراهه‌ها Lengths of Streams	R	0/99	0/63	- 0/44	0/84		0/76	0/84	- 0/45
	Sig.	0/000*	0/029*	0/153	0/001*		0/004*	0/001*	0/14
تراکم زهکشی Drainage Ddensity	R	0/74	0/75	- 0/72	0/63	0/76		0/59	- 0/38
	Sig.	0/006*	0/005*	0.009*	0/027*	0/004*		0/045*	0/277
زمان تمرکز Concentration Time	R	0/85	0/67	- 0/34	0/99	0/84	0/59		- 0/38
	Sig.	0/000*	0/017*	0/275	0/000*	0/001*	0/045*		0/227
شاخص ناهمواری Ruggedness Index	R	- 0/44	- 0/25	0/99	- 0/36	- 0/45	0/68	0/38	
	Sig.	0/151	0/423	0/000*	0/246	0/14	0/016*	0/227	

راه‌کار اصولی جهت دست‌یابی به متغیرهای مستقل مهم و اصلی جهت پیش‌بینی متغیر وابسته استفاده از آزمون خطی است. این کار طی فرایند اجرای رگرسیون چندمتغیره انجام می‌شود که در ادامه شرح داده می‌شود.

مدل رگرسیون چندمتغیره کل جامدات محلول

نتایج تحلیل رگرسیونی روابط متغیرهای ژئومورفومتری حوضه (مساحت، ارتفاع، شیب، طول رودخانه اصلی، طول ابراهه‌ها، تراکم زهکشی، زمان تمرکز، شاخص ناهمواری) با متغیر کل جامدات محلول (TDS) به روش جبری در جدول ۵ مشاهده می‌شود. در مدل رگرسیونی حاصل، ۹۸ درصد واریانس متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل قابل توضیح می‌باشد. این مدل معنی‌دار بوده و با توجه به آماره دوربین واتسون شرط عدم همبستگی بین خطاها هم در آن برقرار است.

مدل پیش‌بینی روش جبری به صورت رابطه (۱) ارائه شده است:

TDS =-1888/88 + 0/01A + 0/15 Alt + 75/44 S - 19/28 Mrl +75/80 Dd + 43/69 Ct - 131Rug (۱)

در معادله فوق، A: مساحت حوضه، Alt: متوسط ارتفاع حوضه، S: متوسط شیب حوضه، Mrl: طول رودخانه اصلی، Dd: تراکم زهکشی، Ct: زمان تمرکز، و Rug: متوسط ناهمواری حوضه می‌باشد. در مدل فوق متغیر مستقل طول آبراهه‌ها به خاطر عامل تورم واریانس (VIF) بالاتر از ۱۰ (VIF= 1381) و هم‌خطی بسیار بالا با سایر متغیرها از مدل نهایی حذف شد.

جدول ۵- آماره‌های مدل رگرسیونی پیش‌بین کل جامدات محلول (TDS) به روش جبری

Table 5- Statistics of predictive regression model of total dissolved solids (TDS) by Enter metod

دوربین واتسون Durbin–Watson	معنی‌داری (Sig.) Significance (Sig.)	آماره F F Statistics	مجموع مربعات باقیمانده (SSE) Sum of Error Squares (SSE)	مجموع مربعات رگرسیون (SSR) Sum of Regresssion Squares (SSR)	خطای استاندارد برآورد (SE) Standard Error of Estimate (SE)	ضریب تعیین (R^2) Coefficient of Determination (R^2)
2/31	0/02	10/37	1104	20040	16/61	0/98

با توجه به وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل، نتایج احتمال هم‌خطی بین این متغیرها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۶). آماره تولرانس عموما بین صفر و یک است که هر قدر به یک نزدیک‌تر باشد، هم‌خطی کمتر است. مقادیر تولرانس حاصل برای بسیاری از متغیرهای مستقل نزدیک به صفر است که نشانگر هم‌خطی نسبتا بالاست. عامل تورم واریانس (VIF) شاخص خوبی از هم‌خطی‌بودن نسبت به تولرانس است. هر چه مقدار VIF یک متغیر مستقل بزرگ‌تر باشد، نشانگر نقش کمتر آن متغیر در تبیین تغییرات متغیر وابسته است. نتایج حاصل موید این مطلب است که به غیر از متغیر مساحت، سایر متغیرهای مستقل از VIF بالای ۱۰ برخوردار بوده و با مشکل هم‌خطی مواجه هستند. بنابراین استفاده از مدل رگرسیونی حاصل با اشکال مواجه بوده و بایستی مدل یا مدل‌هایی ارائه شود که این اشکال در آن‌ها رفع شده باشد.

جدول ۶- آماره‌های همخطی متغیرهای مستقل در مدل رگرسیونی کل جامدات محلول (TDS) به روش جبری

Table 6- Collinearity Statistics of the independent variables in regression model of total dissolved solids (TDS) by Enter metod

شاخص ناهمواری Ruggedness Index	زمان تمرکز Concentration Time	تراکم زهکشی Drainage Ddensity	طول رودخانه اصلی Main River Length	شیب Slope	ارتفاع Altitude	مساحت حوضه Catchment Area	آماره هم‌خطی Colinearity Statistics
0/002	0/002	0/051	0/002	0/002	0/041	0/115	تولرانس Tolerance
559/36	458/81	19/47	603/51	624/18	24/46	8/72	عامل تورم واریانس Variance Inflation Factor

جهت رسیدن به مدل رگرسیونی مناسب و مفید با درنظر گرفتن مفروضات مربوط از روش گام به گام در تحلیل رگرسیونی استفاده شد. این روش یکی از بهترین روش‌ها جهت شناخت مهم‌ترین متغیرهای مستقل پیش‌بین و بدون هم‌خطی است که در عین حال معنی‌داری روابط رگرسیونی را در اولویت قرار می‌دهد. نتایج حاصل از اجرای رگرسیون گام به گام در جدول ۷ مشاهده می‌شود.

دو مدل رگرسیونی در این‌جا قابل ارائه است که در آن‌ها دو متغیر مستقل طول رودخانه اصلی (Mrl) و شیب زمین (S) حضور دارند. در مدل اول با استفاده از تنها متغیر طول رودخانه اصلی (Mrl) ۷۸ درصد واریانس متغیر وابسته قابل توضیح می‌باشد. در مدل دوم ۸۸ درصد واریانس متغیر وابسته توسط دو متغیر طول رودخانه اصلی و شیب زمین قابل توضیح می‌باشد. آماره تولرانس و عامل تورم واریانس برای مدل اول برابر با یک بوده و نشانگر رفع کامل مشکل هم‌خطی از مدل رگرسیونی است. این مقادیر برای مدل دوم به ترتیب برابر با ۰/۸۸۵ و ۱/۱۲۹ حاصل شد که عدم وجود هم‌خطی را تایید می‌نماید. گرچه ضریب تعیین (R^2) مدل رگرسیونی روش گام به گام نسبت به مدل رگرسیونی روش جبری کمتر است، اما مقادیر F و معنی‌داری (Sig) در این زمینه تعیین‌کننده است. آماره F بالا و معنی‌داری کامل مدل رگرسیونی روش گام به گام نسبت به مدل رگرسیونی روش جبری نشانگر کارایی و مفید بودن مدل‌های پیش‌بین روش گام به گام نسبت به مدل رگرسیونی روش جبری است. افزایش آماره F بدان معناست که نسبت مربعات رگرسیون به مربعات باقیمانده یا خطای مدل افزایش یافته و اعتبار مدل بالا می‌رود. حتی آماره دوربین واتسون نیز در مدل رگرسیونی روش گام به گام کمتر شده و به عدد ۱/۵ نزدیک‌تر شده است که احتمال عدم وجود همبستگی بین باقیمانده‌های رگرسیون را بالا می‌برد.

جدول ۷- آماره‌های مدل رگرسیونی پیش‌بین کل جامدات محلول (TDS) به روش گام به گام

Table 7- Statistics of predictive regression model of total dissolved solids (TDS) by Stepwise metod

مدل Model	ضریب تعیین (R^2) Coefficient of Determination (R^2)	خطای استاندارد برآورد (SE) Standard Error of Estimate (SE)	مجموع مربعات رگرسیون (SSR) Sum of Regresssion Squares (SSR)	مجموع مربعات باقیمانده (SSE) Sum of Error Squares (SSE)	آماره F F Statistics	معنی‌داری (Sig.) Significance (Sig.)	دوربین واتسون Durbin–Watson
1	0/78	21/76	16410	473	34/66	0/000	
2	0/88	17/18	18519	2625	31/74	0/000	1/95

مدل‌های پیش‌بین روش گام به گام به صورت رابطه‌های (۲ و ۳) قابل ارائه است:

$$TDS = 49/62 + 3/45\ Mrl \quad (۲)$$

$$TDS = 305/4 + 3/1\ Mrl - 9/95\ S \quad (۳)$$

مدل رگرسیون چندمتغیره هدایت الکتریکی

آزمون رگرسیونی روابط بین متغیرهای مستقل ژئومورفومتری و متغیر وابسته هدایت الکتریکی (EC) به دو روش جبری و گام به گام انجام شد. نتایج حاصل از اجرای رگرسیون جبری طبق جدول ۸ نشان می‌دهد که مدل اولیه قادر به توضیح ۹۸ درصد واریانس EC می‌باشد. این مدل در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده و با توجه به آماره دوربین واتسون که پایین‌تر از عدد ۲/۵ می‌باشد، شرط استقلال بین خطاها هم در آن برقرار است.

جدول ۸- آماره‌های مدل رگرسیونی پیش‌بین هدایت الکتریکی (EC) به روش جبری

Table 8- Statistics of predictive regression model of electrical conductivity (EC) by Enter metod

دوربین واتسون **Durbin–Watson**	معنی‌داری (Sig.) **Significance (Sig.)**	آماره F **F Statistics**	مجموع مربعات باقیمانده (SSE) **Sum of Error Squares (SSE)**	مجموع مربعات رگرسیون (SSR) **Sum of Regresssion Squares (SSR)**	خطای استاندارد برآورد (SE) **Standard Error of Estimate (SE)**	ضریب تعیین (R^2) **Coefficient of Determination (R^2)**
2/32	0/02	10/12	2849	50447	26/69	0/97

مدل پیش‌بین اولیه به صورت رابطه (۴) قابل ارائه است:

$$EC = -1888/88 + 0/01A + 0/15\ Alt + 75/44\ S - 19/28\ Mrl + 75/80\ Dd + 43/69\ Ct - 131Rug \quad (۴)$$

در معادله فوق، A: مساحت حوضه، Alt: متوسط ارتفاع حوضه، S: متوسط شیب حوضه، Mrl: طول رودخانه اصلی، Dd: تراکم زهکشی، Ct: زمان تمرکز، و Rug: متوسط ناهمواری حوضه می‌باشد.

وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل در مدل رگرسیون روش جبری مربوط به تغییرات EC نیز مورد بررسی واقع شد (جدول ۹). نتایج حاصل نشان می‌دهد که در مدل اولیه رگرسیونی EC نیز هم‌خطی بالایی بین متغیرهای مستقل وجود دارد.

جدول ۹- آماره‌های همخطی متغیرهای مستقل در مدل رگرسیونی هدایت الکتریکی (EC) به روش جبری

Table 9- Statistics of collinearity of independent variables in regression model of electrical conductivity (EC) by Enter metod

شاخص ناهمواری **Ruggedness Index**	زمان تمرکز **Concentration Time**	تراکم زهکشی **Drainage Ddensity**	طول رودخانه اصلی **Main River Length**	شیب **Slope**	ارتفاع **Altitude**	مساحت حوضه **Catchment Area**	آماره هم‌خطی **Colinearity Statistics**
0/004	0/002	0/053	0/003	0/002	0/038	0/114	تولرانس Tolerance
510/69	445/56	20/23	588/42	618/31	23/12	8/5	عامل تورم واریانس Variance Inflation Factor

ورود تمامی متغیرهای مستقل به صورت یکجا به مدل باعث بروز تورم واریانس و عدم برآورد واقعی متغیر وابسته شده است. بنابراین استفاده از مدل رگرسیونی حاصل با اشکال مواجه می‌باشد. بنابراین نیاز به روش‌هایی است که متغیرهای اضافی و دارایی واریانس زائد را از مدل حذف نماید. به مانند متغیر وابسته TDS در مورد متغیروابسته EC نیز از روش گام به گام جهت رسیدن به یک مدل رگرسیونی مناسب و مفید جهت پیش‌بینی متغیر وابسته EC استفاده شد. نتایج حاصل از اجرای رگرسیون گام به گام در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود. دو مدل رگرسیونی در این‌جا قابل ارائه است. مدل اول قادر به توضیح ۷۷ درصد واریانس EC با استفاده از متغیر طول رودخانه اصلی است. در مدل دوم ۸۷ درصد واریانس متغیر وابسته توسط دو متغیر طول رودخانه اصلی و شیب زمین قابل توضیح می‌باشد. طی این دو مدل، آماره‌های هم‌خطی بسیار بهبود یافته و مشکل هم‌خطی کاملا رفع گردیده است.

برای مدل اول میزان تولرانس و عامل تورم واریانس برابر با یک می‌باشد. این مقادیر برای مدل دوم به ترتیب برابر با ۰/۸۸۱ و ۱/۱۲۲ حاصل شد که عدم وجود هم‌خطی را تایید می‌نماید. با توجه به ارتقاء آماره F و معنی‌داری این دو مدل نسبت به مدل روش جبری، می‌توان گفت مدل‌های رگرسیونی روش گام به گام از کارایی و و اعتبار خوبی جهت برآورد مکانی EC در حوضه‌های آبخیز تالش برخوردارند.

جدول ۱۰- آماره‌های مدل رگرسیونی پیش‌بین هدایت الکتریکی (EC) به روش گام به گام
Table 10- Statistics of predictive regression model of electrical conductivity (EC) by Stepwise metod

مدل **Model**	ضریب تعیین (R^2) **Coefficient of Determination (R^2)**	خطای استاندارد برآورد (SE) **Standard Error of Estimate (SE)**	مجموع مربعات رگرسیون (SSR) **Sum of Regresssion Squares (SSR)**	مجموع مربعات باقیمانده (SSE) **Sum of Error Squares (SSE)**	آماره F **F Statistics**	معنی‌داری (Sig.) **Significance (Sig.)**	دوربین واتسون **Durbin–Watson**
1	0/77	34/38	41473	11823	34/66	0/000	
2	0/87	27/19	46641	6655	35/16	0/000	1/91

مدل‌های رگرسیونی پیش‌بین EC به روش گام به گام به صورت رابطه‌های (۵ و ۶) می‌باشد:

$$EC = 77/04 + 5/58\ Mrl \quad (۵)$$

$$EC = 488/43 + 3/1\ Mrl - 15/57\ S \quad (۶)$$

یکی از اهداف مهم انجام تحلیل‌های همبستگی و رگرسیونی همانا شناسایی مهم‌ترین متغیرهای مستقل موثر بر تغییرات متغیر وابسته است. نتایج تحلیل‌های همبستگی نشان می‌دهد که ترتیب اهمیت متغیرهای ژئومورفومتری در تبیین تغییرات مکانی TDS و EC بدین صورت می‌باشد: طول رودخانه اصلی، زمان تمرکز، شاخص ناهمواری، شیب، ارتفاع، تراکم زهکشی، مساحت. اما معیار نهایی برای انتخاب متغیرهای مستقل مهم، مدل‌های رگرسیونی نهایی است که مشکل هم‌خطی متغیرهای مستقل در آن‌ها رفع شده است. اولین متغیر مستقل مهم که اثر قاطعی بر تغییرات مکانی کیفیت آب رودخانه‌های تالش دارد، عبارت از طول رودخانه اصلی است که یک متغیر خطی و هیدروژئومورفیک محسوب می‌شود. رابطه مستقیم بین متغیر طول رودخانه اصلی و متغیرهای TDS و EC می‌تواند در راستای نتایج عادلی (Adeli, 2012) باشد. وی اذعان داشت که هر چه مسیر طی‌شده آب بیشتر باشد، احتمال کاهش کیفیت آب بالاتر است. آلمادا و همکاران (Almada et al., 2019) نیز طول رود و شیب حوضه را در زمره مهم‌ترین پیش‌بین‌گرهای کیفیت آب دانستند. دومین متغیر مستقل مهم که در مدل‌های نهایی پیش‌بین حضور داشت متغیر شیب زمین می‌باشد که بیشتر محققین به اهمیت مثبت آن در افزایش کیفیت آب رودخانه‌ها اذعان داشتند. وجود رابطه معکوس بین این متغیر و متغیرهای کیفی آب دال بر نقش مثبت شیب زمین در توان خودپالایی رودخانه بوده و در راستای نتایج لیو و همکاران (Liu et al., 2021) و گوانانگا و همکاران (Guananga et al., 2022) می‌باشد.

با توجه به نقش برجسته خصوصیات هیدروژئومورفیک در تغییرات مکانی کیفیت آب رودخانه‌ها می‌توان نتایج حاصل را با نتایج رضائی مقدم و همکاران (Rezaei Moghaddam et al., 2017) نیز هم‌راستا دانست. با وجود این‌ها، بیشتر محققین به نقش اساسی عامل زمین‌شناسی در تغییرات کیفیت آب رودخانه‌ها اشاره کرده‌اند. وارانکا و همکاران (Varanka et al., 2015) در کنار عامل توپوگرافی به عامل مهم سنگ‌شناسی در تغییرات کیفی آب اذعان داشت. یمانی و همکاران (Yamani et al., 2010) شیب رودخانه و جنس بستر را جزو عوامل ژئومورفیک موثر بر کیفیت آب قلمداد نمودند. در نهایت عادلی (Adeli, 2012) و جباری (Jabari, 2014)

نیز به نقش قاطع جنس سنگ‌بستر در تغییرات مکانی کیفیت آب اذعان داشتند. عدم ورود عامل سنگ‌شناسی به مدل‌های نهایی برآورد کیفی آب را می‌توان به دلایل چندی دانست. گرچه این محققین به نقش برجسته سازند زمین‌شناسی در تغییرات مکانی مولفه‌های کیفی آب پی بردند، لیکن نتایج ایشان بیشتر کیفی بوده و بر اساس تحلیل همبستگی نبوده است. به عبارتی، ایشان از عامل سنگ‌شناسی به صورت متغیر اسمی یا رتبه‌ای در تعیین تغییرات کیفیت آب رودخانه‌ها بهره جستند. از طرفی، گسترش کم سازندهای حساس به فرسایش در حوضه‌های آبخیز تالش می‌تواند توجیهی بر اهمیت کم این متغیر نسبت به متغیرهای ژئومورفومتری در قبال تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها باشد. البته وجود پوشش حفاظی جنگل نیز مزید بر علت شده و مانع از فرسودگی سنگ‌های دامنه‌ها و انحلال مواد قابل حمل به داخل رودخانه‌های تالش می‌شود. در عین حال، هر چند رابطه قوی و معنی‌داری بین درصد سازندهای حساس به فرسایش و متغیرهای کیفی آب در حوضه‌های آبخیز تالش حاصل نشد، لیکن جهت رابطه حاصل بین این متغیر و متغیرهای کیفی آب (مستقیم) در راستای نتایج تحقیقات پیشین بود. به عبارتی، سازندهای حساس به فرسایش نقش موثری در افزایش میزان TDS و EC در حوضه‌های رودخانه‌ای تالش دارند. تاناکا و سوزوکی (Tanaka & Suzuki, 2009) بیان داشند هرچند عوامل اصلی که کیفیت آب رودها را تحت تاثیر قرار می‌دهند، زمین‌شناسی و ته‌نشست جوی بر روی حوضه می‌باشد، اما کیفیت آب رودها تغییرات چشمگیری حتی در حوضه‌های با زمین‌شناسی و بارندگی‌های جوی یکسان نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد به غیر از این عوامل، عامل دیگری که ارتباط نزدیکی با کیفیت آب رود دارد، تاثیرگذار است. این عامل می‌تواند همان عامل ژئومورفیک باشد که تعیین‌کننده تغییرات مکانی تمامی مواد قابل حمل رودخانه‌هاست.

نتیجه‌گیری

از آن‌جایی که خصوصیات حوضه آبخیز به طرق پیچیده با یکدیگر و نیز با عوامل کاربری زمین در کنش متقابل هستند، فهم اثرات آن‌ها بر کیفیت آب می‌تواند راهگشای پیش‌بینی تغییرات کیفی آب در حوضه‌های رودخانه‌ای باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با تکیه بر داده‌های رقومی ارتفاعی و مدل‌های آماری رگرسیونی می‌توان به راحتی به این مهم دست یافت که برای برنامه‌ریزان و طراحان صنعت آب جهت تامین مصارف مختلف شهری و روستای و صنعتی مفید می‌باشد. نتایج تحلیل همبستگی از این نظر حائز اهمیت است که روابط معنی‌دار و متغیرهای مستقل موثر بر تغییرات مکانی مولفه‌های کیفی آب را برایمان آشکار می‌سازد. در این راستا با توجه به جهت روابط همبسته (مستقیم یا معکوس) بین متغیرهای ژئومورفومتری و متغیرهای کیفی TDS و EC در حوضه‌های آبخی تالش می‌توان پهنه‌های حساس در برابر افت کیفی آب رودخانه‌ها را شناسایی نمود که جهت اولویت‌بندی عملیات ابخیزداری و حفاظت و احیاء حوضه‌های آبخیز مهم می‌نماید. نتایج تحلیل‌های همبستگی نشان می‌دهد که در حوضه‌های بزرگ، مرتفع، کم‌شیب و هموار، گرد و دارای رودهای طویل، تراکم زهکشی بالا، و زمان تمرکز زیاد، کیفیت آب رو به افول می‌گذارد. فلذا چنین حوضه‌هایی نیازمند حفاظت بیشتر در قبال بهره‌برداری از منابع آب و خاک هستند. اهمیت این موضوع با توجه به مورفودینامیک فعال حوضه‌های آبخیز تالش و بروز فرایندهای فرسایش و سیل در آن‌ها هرچه بیشتر معلوم می‌شود.

استفاده از روش‌های جبری و گام به گام در مدل‌سازی روابط بین متغیرهای ژئومورفومتری و متغیرهای کیفی آب (TDS و EC) این مزیت را دارد که پروسه انتخاب متغیرهای پیش‌بین اصلی به طور کامل و با بررسی پیش‌فرض‌های آماری قابل انجام است. به‌علاوه، اعمال روش جبری با دخیل کردن تمامی روابط همبسته معنی‌دار نشان داد که از منظر ژئومورفومتری حوضه، قادر به شناسایی ترکیب درهم‌بافته متغیرهای خطی، مسطحاتی و ناهمواری و نقش آن در تغییرات مکانی متغیرهای کیفی آب رودخانه‌ها می‌باشد که به نوبه خود دلالت بر ماهیت سیستمی حوضه زهکشی و روابط ستیغ- دامنه- کانال دارد. با این حال، مدل‌های پیش‌بین معتبر و دقیق و نیز دست‌یابی به قطعیت تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از طریق اعمال روش گام به گام میسر می‌باشد. در مدل اول این روش با استفاده از تنها متغیر طول رودخانه اصلی و در مدل دوم با استفاده از دو متغیر طول رودخانه اصلی و شیب

زمین به ترتیب ۷۸ و ۸۸ درصد واریانس متغیرهای TDS و EC قابل توضیح بود که رقم قابل توجهی است. چنین نتیجه گرفته شد که هر چه بر طول رودخانه اصلی افزوده می‌شود، عبور رودخانه از محیط‌های مختلف و با تنوع کاربری و پوشش زمین بیشتر شده و ممکن است در معرض ورود آلاینده‌های مختلف قرار گیرد. به‌علاوه، به علت طول زیاد رودخانه‌ها ممکن است تداوم فرایندهای فرسایشی فزونی گرفته و با توجه به شیب قابل‌توجه رودخانه‌های اصلی تالش، انتقال هنگفت مواد محلول به آسانی صورت گیرد.
در کل، با توجه به توان پیش‌بینی و کارایی بالای مدل‌های رگرسیونی برآورد TDS و EC می‌توان به تعمیم تغییرات مکانی مولفه‌های کیفی آب در سایر حوضه‌های تالش دست زد. در این راستا استفاده از متغیر سنگ‌شناسی به صورت درصد پراکنش سازند و نیز دخیل کردن سایر متغیرهای زمین‌شناسی چون پراکنش گسل‌ها و حساسیت لرزه‌زایی و ... در بررسی تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها برای تحقیقات آتی توصیه می‌شود. به‌علاوه، مدل روش جبری به دلیل وجود اشکال هم‌خطی بین متغیرهای مستقل با تورم واریانس و افزونگی اطلاعات مواجه بوده و برای مطالعات کابردی توصیه نمی‌شود.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی و معنوی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته از طرح شماره ۴۰۲۳۹۷۵ انجام شده است. فلذا از این صندوق و مسئولین آن قدردانی و تشکر می‌شود.

References

Adeli, M. (2012). Evaluation of ground water quality in GORGAN Township using GIS and Geostatistics. *Geographical Planning of Space*, *2*(5), 57-74. [In Persian] https://gps.gu.ac.ir/article_5338.html

Allan, D. (1995). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. In M. Ebrahimnezhad (Eds.), Esfahan: Esfahan UIniversity Publication.

Almada, H. K. S., Silvério, D. V., Macedo, M. N., Maracahipes-Santos, L., Zaratim, E. C. P., Zaratim, K. P., ... & Umetsu, R. K. (2019). Effects of geomorphology and land use on stream water quality in southeastern Amazonia. *Hydrological Sciences Journal*, *64*(5), 620-632. https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1587563

Amir Entekhabi, S. (2019). Investigating the effects of housing development in land use change (Case study: Talesh). *Spatial Locational Researches*, *3*(1), 69-84. [In Persian]

Dai, X., Zhou, Y., Ma, W., & Zhou, L. (2017). Influence of spatial variation in land-use patterns and topography on water quality of the rivers inflowing to Fuxian Lake, a large deep lake in the plateau of southwestern China. *Ecological Engineering*, *99*, 417-428. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.011

Delbari, F., Rezaei Tavabe, K., Mirvaghefi, A., Lahijanzadeh, A., Bagherzadeh Karimi, M., & Salamroodi, E. (2022). Evaluation of water quality of Tajan River using IRWQIsc index. *Aquaculture Sciences*, *10*(2), 83-98. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23225351.1401.10.19.8.8

Engelhardt, B. M., Weisberg, P. J., & Chambers, J. C. (2011). Influences of watershed geomorphology on extent and composition of riparian vegetation. *Vegetation Science*, *23*(1), 127-139. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01328.x

Farkhani, S. (2021). Investigating the quality status of Haraz River using numerical modeling. *Iran-Water Resources Research*, *17*(1), 262-276. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1400.17.1.16.7

Garcia, J. H., Ollero, A., Ibisate, A., Fuller, I. C., Death, R. G., & Piégay, H. (2021). Promoting fluvial geomorphology to "live with rivers" in the Anthropocene Era. *Geomorphology*, *380*, 107649. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107649

Ghanbarzadeh, H., & Behniafar, A. (2014). *Faundamentals of Environmental Changes*. Mashhad: Sokhanghostar Publication. [In Persian]

Guananga, N., Mendoza, B., Guananga, F., Bejar, J., Carbonel, C., Escobar Arrieta, S. N., & Guerrero Rivera, A. W. (2022). Influence of geomorphology and flow on the water quality of Guano river, Ecuador. *Revista Digital Novasinergia*, *5*(2), 174-192. https://doi.org/10.37135/ns.01.10.10

Hajikarimi, Z., Shayan, S., & Khoshraftar, R. (2020). Assessment of Active tectonics in the Karganroud Basin in the eastern slope of the Talesh (Baghrodagh), by Using Geomorphic Indices. *Quantitative Geomorphological Research*, *9*(1), 217-236. [In Persian] https://www.geomorphologyjournal.ir/article_109989.html

Homayoonnezhad, I., & Amirian, P. (2024). Water quality assessment, water quality index, wqi, chahnimeh reservoirs. *Journal of Water and Sustainable Development*, *10*(4), 81-88. https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2307-1262

Jabbari, I. (2014). The role of geological and geomorphologic characteristics on the Sirvan river pollution. *Geography and Environmental Sustainability*, *4*(3), 27-42. [In Persian] https://ges.razi.ac.ir/article_242.html?lang=en

Kkhalili, R., Parvinnia, M., & Zali, A. (2020). Water quality assessment of Garmarood River using the national sanitation foundation water quality index (NSFWQI), river pollution index (RPI) and weighted arithmetic water quality index (WAWQI). *Environment and Water Engineering*, *6*(3), 274-284. [In Persian] https://doi.org/10.22034/jewe.2020.238090.1381

Liu, H., Meng, C., Wang, Y., Li, Y., Li, Y., & Wu, J. (2021). From landscape perspective to determine joint effect of land use, soil, and topography on seasonal stream water quality in subtropical agricultural catchments. *Science of the Total Environment*, *783*, 147047. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147047

Mahrooyan, F., Taghavi, L., Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H. (2020). Water quality assessment of Qazvin River using NSFWQI index for water quality classification. *Journal of Wetland Ecobiology*, *12*(1), 99-112. [In Persian] http://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-855-en.html

Montaseri, L., Amir Ahmadi, A., Zangeneh Asadi, M. A. (2019). Geomorphologic phenomenon of marly hills and its effect on chemical quality of the agricultural water (case study: Kalateh-Sadat watershed of Sabzevar). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, *19*(55), 57-77. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/jgs.19.55.57

Mousavian, M., Haghizadeh, A., Dehdari, S., & Hazbavi, Z. (2014). Affective environmental factors on temporal variations of water quality properties in Zard River in khuzistan province. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *1*(1), 59-68. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2014.52526

Murray, A. B., Lazarus, E., Ashton, A., Baas, A., Coico, G., Coulthard, T., … & Reinhardt, L. (2009). Geomorphology, complexity, and the emerging science of the Earth's surface. *Geomorphology*, *103*, 496-505. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.013

Poorfarashzadeh, F., Madadi, A., & Asghari, S. (2024). The investigation of relationship between forest cover and hydrogeomorphic variables in Talesh catchments. *Quantitative Geomorphological Research*, *13*(3), 46-64. [In Persian] https://www.geomorphologyjournal.ir/article_198370.html

Rezaei Moghaddam, M. H., Nikjoo, M. R., Hejazi, M. A., Khezri, S., & Kazemi, A. (2017). Study of the effects of hydro-geomorphology factors on the water quality changes of Siminehrood River at various stations during 2003-2013. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *4*(2), 395-405. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2017.61476

Rostampour, M. (2022). Comparison of outlier detection methods and their impact on rangeland measurement and assessment studies. *Journal of Range and Watershed Managment*, *75*(4), 639-660. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.50442008.1401.75.4.9.9

Shakeri Zare, H., Karam, A., Saffari, A., & Kiyani, T. (2020). Assessment of environmental flow needs of harirud border riverbed after construction and dewatering of salma dam in Afghanistan (by hydrological methods). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *9*(2), 207-224. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v9i2.85447

Tanaka, M., & Suzuki, K. (2009). Influence of watershed topography on the chemistry of stream water in a mountainous area. *Water, Air, and Soil Pollution*, *196*, 321-331. https://doi.org/10.1007/s11270-008-9780-2

Varanka, S., Hjort, J., & Luoto, M. (2015). Geomorphological factors predict water quality in boreal rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, *40*(15), 1989-1999. https://doi.org/10.1002/esp.3601

Yamani, M., Moghimi, E., Jodari-E-Eyvazi, J., Mohamadi, H., & Issaee, A. R. (2010). Effects of Ecogeomorphological Parameters on Chemical Water Quality Case Study: Kor River and Doroodzan Dam Lake. *Geography and Environmental Planning*, *21*(1), 17-32. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085362.1389.21.1.2.6

Ye, L., Cai, Q. H., Liu, R. Q., & Cao, M. (2009). The influence of topography and land use on water quality of Xiangxi River in Three Gorges Reservoir region. *Environmental Geology*, *58*(5), 937-942. https://doi.org/10.1007/s00254-008-1573-9

Zia -Tavana, M. H., & Amir Entekhabi, S. (2007). Procedure of conversion in village to city and its results in Talesh Township. *Geography and Development*, *5*(10), 107-128. [In Persian] https://doi.org/10.22111/gdij.2007.3663